

Modelización gravimétrica en el SW de la Península Ibérica

Gravity modelling in southwestern Iberian Peninsula

N. Sánchez Jiménez (*), J.F. Bergamín (*), C. Fernández Rodríguez (**), y A. Castro Dorado (**)

(*) Dpto. de Geodinámica, Fac. CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid

(**) Dpto. de Geología, Universidad de Huelva, Campus de la Rábida, 21819 Palos de La Frontera (Huelva)

ABSTRACT

A gravity research has been carried out in the southwestern part of the Iberian Massif to study the contact between the Ossa-Morena (OMZ) and Southportuguese zones (SPZ). The Bouguer anomaly map shows a relative gravity high over the Aracena metamorphic belt (AMB), and a strong gradient from this high to the NNE as the most conspicuous features. A 2 1/2 D gravity modelling has been carried out to explain the Bouguer anomalies in the area. Three different interpretations of the same profile have been elaborated. The first model shows a continuous continental crust and the second one a mantle inflexion. None of them provide a good adjust to the data. In the third model presented the gravity high related to the AMB has been fitted in the model with a north-dipping wedge of lithospheric mantle and metabasites (with tholeiitic oceanic affinity) separating two different continental crust appearing to the north (OMZ) and south (SPZ) of this wedge, which was the suture between these two continents. The results of the gravity modelling process demonstrate that this hypothesis does satisfy the observed gravity data.

Key words: gravity modelling, seismic, Iberian Massif, subduction, continental collision, suture zone.

Geogaceta, 20 (4) (1996), 951-954
ISSN:0213683X

Introducción.

El presente estudio se localiza en el contacto entre las zonas de Ossa-Morena y Surportuguesa (fig.1). Estas zonas representan los dominios más meridionales del Macizo Ibérico (Lotze, 1945; Julivert *et al.*, 1972).

La Zona de Ossa-Morena (ZOM) está constituida esencialmente por materiales del Precámbrico superior y Paleozoico inferior, caracterizados por una alternancia de cinturones plutónicos y metamórficos que siguen la dirección general de las estructuras regionales (WNW-ESE). El Precámbrico aflora a lo largo de dos núcleos antiformes: la zona de cizalla Badajoz-Córdoba y el Antiforme Olivenza-Monesterio. Al norte y sur de este último se localizan importantes afloramientos Cámbricos en los sinclorios de Zafra-Alanís y Cumbres-Fregenal de la Sierra respectivamente. Los materiales de edad Ordovícico-Silúrico afloran en el Sinclinario de Barrancos-Hinojales. La parte más meridional de la ZOM está formada por un cinturón de rocas de alto grado metamórfico, la Banda Metamórfica de Aracena (BMA) (Bard, 1969). Esta puede dividirse en un dominio continental en su parte norte, y una franja de metabasitas de afinidad oceánica en su parte

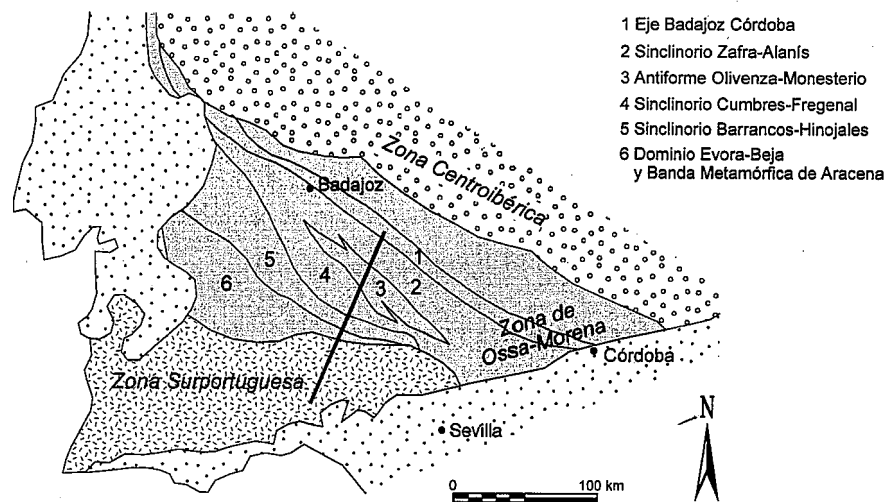


Figura 1. Situación geográfica y geológica de la zona estudiada y localización del perfil.

Figure 1. Geographical and geological situation of the studied zone and location of the profile.

meridional (Castro *et al.*, 1996).

La Zona Surportuguesa (ZSP) se caracteriza por el afloramiento de rocas sedimentarias y volcánicas de edades comprendidas entre el Devónico superior y el Carbonífero, afectadas por un metamorfismo de grado muy bajo a bajo.

El límite entre la ZOM y la ZSP está

marcado por una importante estructura, la Zona de Cizalla Suribérica de Crespo-Blanc y Orozco (1988), que afecta por el sur a la BMA. Desde el punto de vista geofísico, este límite pone en contacto rocas de características muy contrastadas. Tectónicamente supone una de las principales suturas del Cinturón Hercínico eu-

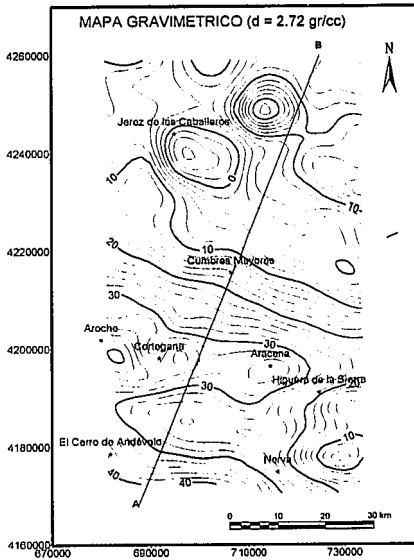


Figura 2. Mapa de anomalías de Bouguer ($d = 2,72 \text{ gr/cm}^3$) con la situación del perfil. Coordenadas UTM en km. Isonómalas en mGal.

Figure 2. Bouguer anomaly map ($d = 2.72 \text{ gr/cm}^3$) with location of the profile. Coordinates UTM in km. Isolines in mGal.

ropeo. Según Castro *et al.* (1996) en esta región tuvo lugar durante la orogenia Hercínica un proceso de subducción dirigida hacia el norte, con la migración de una unión triple de tipo TTR y la génesis de una ventana litosférica. Por último se produjo la colisión entre las cortezas continentales de la ZOM y la ZSP.

Esta compleja evolución tectónica justifica el interés de realizar un estudio gravimétrico en este área. El objetivo de esta investigación es estudiar la estructura de la corteza y el manto superior y las características de la sutura. Para ello se han realizado tres modelos gravimétricos a escala regional, según un perfil que sigue la dirección del gradiente principal de las anomalías de Bouguer en la zona, siendo perpendicular a la dirección de las estructuras geológicas y a las anomalías gravimétricas, es decir, SW-NE.

Descripción del mapa gravimétrico- Metodología

El mapa gravimétrico mostrado forma parte de un levantamiento gravimétrico que se ha llevado a cabo en el SW del Macizo Ibérico, a partir de 2500 estaciones de campo, cubriendo un área de 24200 km², lo que da una densidad media de una estación cada 9 km². El levantamiento se ha apoyado en una red de bases unidas a la red nacional. Se han establecido las cotas con altímetro barométrico, en recorridos de menor duración, apoyados sobre vértices geodésicos. La gravedad teórica ha sido calculada a partir del World Geodetic System de 1984, que considera el efecto de la curvatura de la Tierra. El valor de la densidad de reducción de la lámi-

na de Bouguer es 2,72 gr/cm³. La corrección topográfica ha sido calculada hasta 22 km con el algoritmo de Kane (1962), modificado para su uso con un ordenador personal utilizando un modelo digital del terreno.

En esta zona, el mapa de anomalías de Bouguer (fig. 2) muestra un intervalo de anomalías entre 40 y -6 mGal. Entre Aroche y Aracena, siguiendo una dirección

1. Manto litosférico	3,30
2. Corteza cont. inferior (ZSP)	2,93
3. Cort. cont. media-inferior (ZSP)	2,73
4. Cort. cont. media (ZSP)	2,75
5. Cort. cont. sup. (ZSP)	2,65
6. Cort. cont. inferior (ZOM)	2,80
7. Cort. cont. media-inferior (ZOM)	2,71
8. Cort. cont. media (ZOM)	2,70
9. Olivenza-Monesterio	2,70
10. Cumbres-Fregenal	2,65
11. Zafra-Alanís	2,77
12. Barrancos-Hinojales	2,68
13. Metabasitas del Dominio Oceánico	2,93
14. Corteza Oceánica	2,93
15. Dominio del Alto grado	2,77
16. Dominio Norte	2,70

Tabla 1. Bloques definidos en los modelos gravimétricos y densidades utilizadas en gr/cm³. Los números en cursiva corresponden a los de las figuras 3, 4 y 5.

Table 1. Defined blocks in gravity models and assigned densities in gr/cm³. Numbers in italics refer to figures 3, 4 and 5.

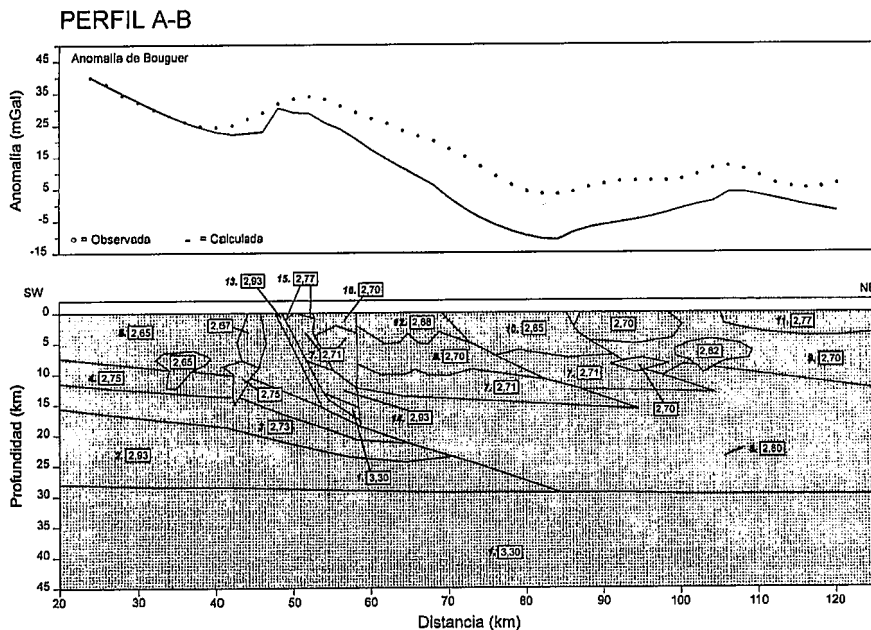


Figura 3. Primer modelo, con un espesor constante para toda la corteza. En las etiquetas se indica la densidad en gr/cm³. En cursiva aparece la numeración utilizada en la tabla 1. Los bloques sin números en cursiva corresponden a cuerpos plutónicos.

Figure 3. First model with a continuous continental crust. Labels show the density values in gr/cm³. Figures in italics refer to table 1. Blocks without figures in italics correspond to plutonic bodies.

aproximada E-W aparece una alineación de máximos coincidiendo con la Banda Metamórfica de Aracena limitada en el norte por un fuerte gradiente. El máximo relativo que aparece al norte del mapa corresponde a unos afloramientos de rocas básicas; el mínimo relativo que aparece justo al sur de la línea de máximos E-W de la Banda Metamórfica de Aracena responde a las masas graníticas que afloran en la zona. Hacia el sur vuelve a haber un fuerte gradiente, alcanzando los valores de anomalía de Bouguer positiva más altos de este mapa.

Modelización gravimétrica

Como paso previo e imprescindible en la modelización gravimétrica, se realizó un modelo geológico en el que se integraron los datos de superficie disponibles, a partir de las hojas de la Serie Magna del ITGE y de trabajos de campo. El perfil geológico atraviesa, de norte a sur, los dominios de Zafra-Alanís, Olivenza-Monesterio, Cumbres-Fregenal, Barrancos-Hinojales, los Dominios Continental

(Dominio Norte y del Alto Grado) y Océánico de la BMA y la corteza superior de la Zona Surportuguesa.

El modelo geológico en profundidad se elaboró teniendo en cuenta los datos sísmicos existentes (ILIHA DSS Group, 1993; González *et al.*, 1993; Mendes-Victor *et al.*, 1993), que coinciden en señalar: 1) un espesor más o menos homogéneo para toda la corteza de 30 km. con algunas variaciones, entre 28 y 32 km.; 2) la existencia de tres reflectores principales en la corteza, aunque las profundidades a que se encuentran y las velocidades varían de unos perfiles a otros; 3) la existencia en algunos perfiles de la ZSP de una capa de baja velocidad en la corteza media; y 4) una mayor heterogeneidad en la corteza de la ZOM.

Descripción de los cuerpos

Para modelizar los distintos cuerpos hemos utilizado el modelo geológico previo construido a partir de la geología de superficie y la sísmica, manteniendo en el modelo gravimétrico cuerpos geológicos que en ocasiones no presentan un gran contraste de densidad. Hemos adoptado un modelo de corteza de cuatro capas tanto para la ZOM como para la ZSP, debido a que en los perfiles sísmicos se observa, en la corteza intermedia, una disminución en la velocidad de las ondas P en la ZSP y un aumento en la ZOM. Esto se traduce en un descenso y aumento de la densidad con la profundidad para las ZSP y ZOM respectivamente. Debido a que la modelización gravimétrica no permite definir cuerpos con densidad variable con la profundidad, hemos dividido la corteza intermedia en dos capas tanto en la ZSP como en la ZOM.

La estructura de la corteza en la ZOM es más heterogénea debido, fundamentalmente, a la existencia de antifórmas y sinfórmas que representan los distintos niveles de la corteza, separados por fallas: el sinclinorio Cumbres-Fregenal correspondería a una corteza continental media y el antifórma Olivenza-Monesterio a una corteza inferior a ésta.

Modelo de densidad

Para determinar las densidades utilizadas en la modelización gravimétrica se llevó a cabo un muestreo de las distintas formaciones litológicas y cuerpos plutónicos que afloran en la zona. Los datos de velocidad de ondas P aportados por los perfiles sísmicos, han permitido determinar las densidades de los cuerpos no aflorantes mediante una relación empírica en-

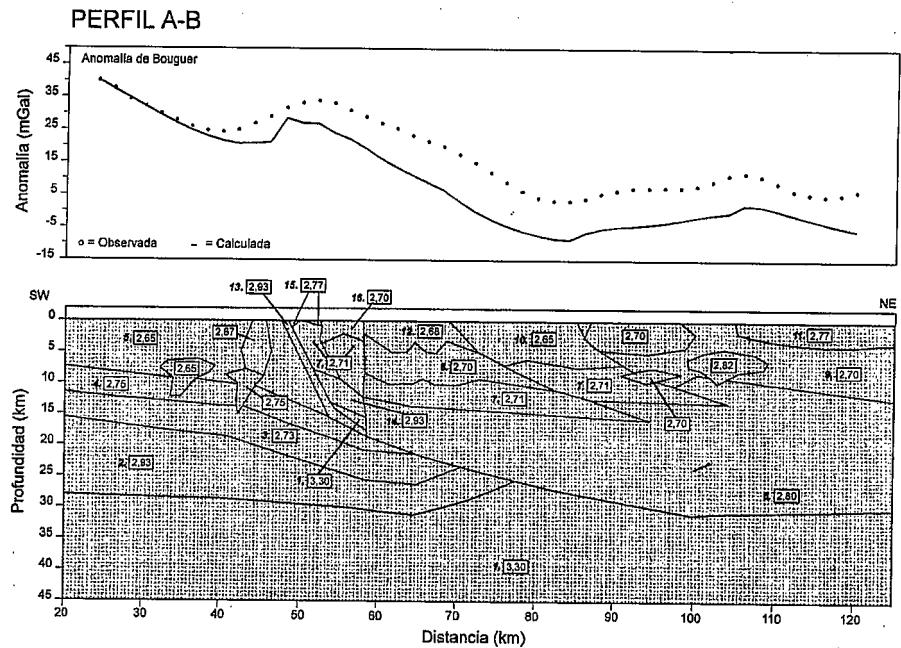


Figura 4. Segundo modelo, con una inflexión del límite corteza-manto. Leyenda como en la figura 3.

Figure 4. Second model with a mantle inflexion. Legend as in figure 3.

tre la densidad y la velocidad de las ondas P (Wollard, 1975) contrastando los valores obtenidos con resultados derivados de estudios petrofísicos en rocas corticales de otras áreas (Dobrin, 1976; Clark, 1966; y Henkel *et al.*, 1990) (Tabla 1).

Resultados de la modelización

El proceso de modelización se ha realizado en 2 ½ D mediante el programa GM-SYS de Geosoft.

Se elaboró en primer lugar un modelo en el que se mantiene un espesor constante para toda la corteza continental, aun siendo dos cortezas continentales distintas con sus propias características (fig. 3). En la respuesta del modelo se observa un importante defecto de masa en la parte de la curva de anomalía de Bouguer que se encuentra sobre la zona de Ossa-Morena. Ni aumentando la densidad de la corteza inferior a valores poco realistas y fuera de los límites permitidos por la sísmica se obtiene un buen ajuste entre los datos observados y el modelo, pues sigue existiendo un defecto de masa en la parte central de la curva.

Para intentar compensar este defecto de masa, se elaboró un segundo modelo gravimétrico (fig. 4) con una inflexión en el límite corteza-manto. La respuesta del modelo es muy similar al anterior, comprobándose de nuevo un defecto de masa en la parte central de la curva que no es posible ajustar con los cuerpos superficiales, debiendo estar la causa de esta anomalía por lo tanto, en la existencia de

un cuerpo de alta densidad en niveles más profundos.

En el tercer modelo presentado (Fig. 5), la anomalía gravimétrica asociada con la BMA se ha ajustado definiendo una cuña de manto litosférico con buzamiento dirigido hacia el norte (en el mismo sentido en el que se produjo la subducción) separando las diferentes cortezas continentales de la ZOM y ZSP, que aparecen al N y al S de esta cuña. En este caso sí se obtiene un buen ajuste con los datos observados. El descenso de los valores de anomalía de Bouguer hacia el NE se debe fundamentalmente a la menor densidad de la corteza continental inferior de la ZOM respecto a la de la ZSP. El máximo relativo asociado a la Banda Metamórfica de Aracena se debe tanto a la existencia de rocas de alta densidad en superficie, como a la cuña de manto litosférico y metabasitas en niveles más profundos.

Aunque el objetivo principal de la modelización es conocer la estructura cortical, que es la que produce las anomalías de gran longitud de onda, se ha introducido un cuerpo de alta densidad (2,82 gr/cm³) en la ZOM para ajustar el máximo relativo de pequeña longitud de onda que aparece en la parte derecha de la curva de anomalía. Este cuerpo puede justificarse por la presencia de rocas plutónicas básicas en la zona.

Discusión y conclusiones

La realización de modelos gravimétricos en los que se integren datos geológi-

cos y geofísicos constituye una herramienta muy útil para conocer la estructura de la corteza.

Se han realizado tres modelos gravimétricos en un antiguo límite de placas, según un perfil de dirección NW-SE perpendicular a las estructuras, para conocer la geometría de la sutura entre los dos bloques continentales que colisionaron después de un proceso de subducción dirigido hacia el N-NE, y la estructura actual de la corteza en esta zona.

Las respuestas de los dos primeros modelos realizados, a) manteniendo un espesor constante para toda la corteza, y b) variando ligeramente este espesor y modelizando una inflexión del manto, no ajustan satisfactoriamente con los datos observados. En ambos casos se observa que hay un importante defecto de masa en toda la parte de la curva correspondiente a la zona de Ossa-Morena.

En el tercer modelo presentado, con una cuña de manto litosférico entre las ZOM y ZSP, se obtiene un buen ajuste. Por lo tanto, podemos concluir que la modelización gravimétrica apoya la presencia de una cuña de manto litosférico y metabasitas de afinidad oceánica (correspondientes al Dominio Oceánico de la BMA), buzante hacia el norte y separando dos zonas continentales con características gravimétricas contrastadas (ZOM y ZSP). Esta interpretación de la estructura profunda de la corteza satisface también el modelo tectónico propuesto por Castro *et al.*, (1996).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos DGICYT PB91-0600 y PB94-1085. Los autores agradecen la colaboración de la Dra. Rosa Tejero López.

Referencias

Bard, J. P. (1969). *Thèse d'Etat*, Univ. de Montpellier, 398 pp.

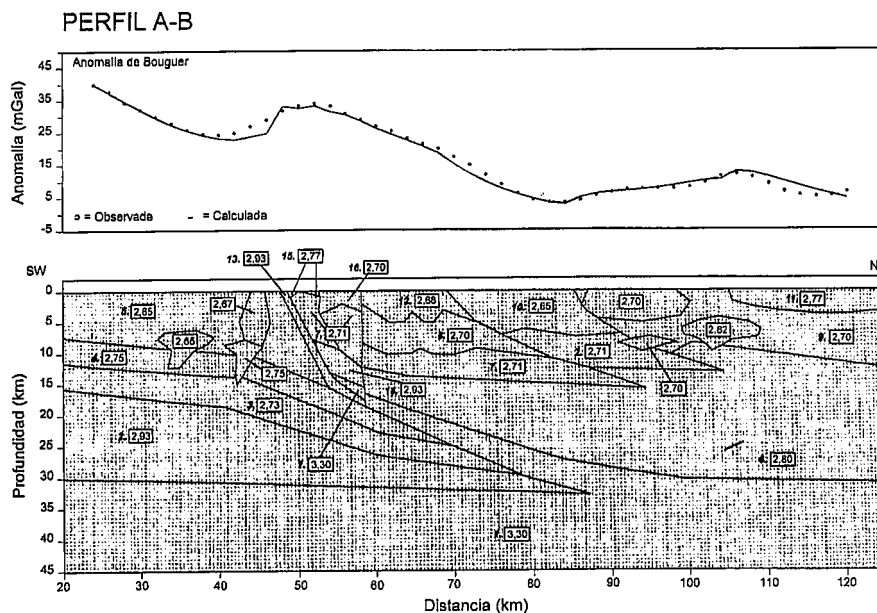


Figura 5. Modelo definitivo con una cuña de manto litosférico y metabasitas entre las ZOM y ZSP. Leyenda como en la figura 3.

Figure 5. Definitive model with a north-dipping wedge of lithospheric mantle and metabasites between the OMZ and SPZ. Legend as in figure 3.

Castro, A.; Fernández, C.; De la Rosa, J.; Moreno-Ventas, I.; El-Hmidi, H.; El-Biad, M.; Bergamín, J.F. y Sánchez, N. (1996). *Geol. Rundsch.*, 85, 180-185.
 Clark, S. P. (1966). *Geol. Soc. Am. Mem.*, 97, 587 pp.
 Crespo-Blanc, A. y Rozco, M. (1988). *Tectonophysics*, 148, 221-227.
 Dobrin, M. B. (1976). *Introduction to Geophysical prospecting*, 3rd. edition. 630 pp.
 GM-SYS 1.89 (1992) Program of Northwest Geophysical Associates Inc. USA.
 González, A.; Córbova, D.; Matías, I. M.; Vegas, R. y Téllez, J. (1993). *Monografía nº 10, IGN*, Madrid, 215-227.
 Henkel, H.; Lee, M. K.; y Lund, C. E.

(1990). *The European Geotraverse: Integrative studies*. Alemania, 1-47.
 ILIHA DSS Group (1993). *Tectonophysics*, 221, 35-51.
 Julivert, M.; Fontboté, J.M.; Ribeiro, A. y Nabais Conde, L.E. (1972). Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. E 1:1.000.000. Memoria explicativa (1974). IGME, Madrid.
 Kane, M. F. (1962). *Geophysics*, 27, 4, 455-462.
 Lotze, F. (1945). *Geoth. Forsch.*, 6, 78-92.
 Mendes-Víctor, L.A.; Miranda, J.M. y Matías L.M. (1993). *Monografía nº 10, IGN*, Madrid, 179-196.
 Wollard, G. P. (1975). *Bureau Gravimétrique Int. Bull. Inform.*, 36, I, 106-110.